

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-226316

(43)公開日 平成7年(1995)8月22日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 01 F 1/44  
1/34  
41/02

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

Z

H 01 F 1/ 28

1/ 34

S

審査請求 未請求 請求項の数 5 FD (全 7 頁)

(21)出願番号

特願平6-37554

(22)出願日

平成6年(1994)2月14日

(71)出願人 592036818

藤田 豊久

秋田県秋田市広面字高田13-4

(71)出願人 000227250

日鉄鉱業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目3番2号

(71)出願人 000233572

日立粉末冶金株式会社

千葉県松戸市稔台520番地

(72)発明者 藤田 豊久

秋田県秋田市広面字高田13の4

(74)代理人 弁理士 萩野 平 (外3名)

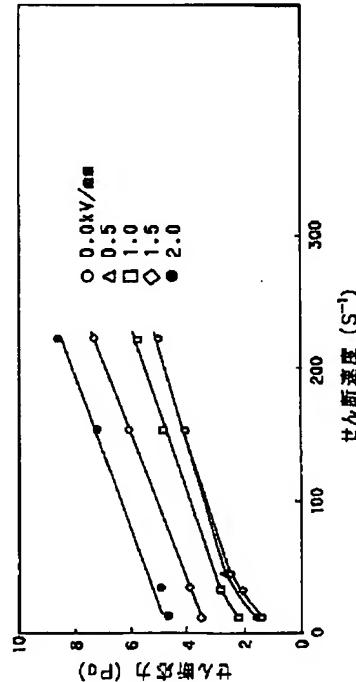
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁性エレクトロレオロジー流体及びその製造方法

(57)【要約】

【目的】 外部電場又は外部磁場の一方、あるいは両者の作用により粘度が著しく変化し、しかも応答性並びに制御性にも優れた磁性エレクトロレオロジー流体及びその製造方法を提供する。

【構成】 磁性体微粒子を分散させた溶液に金属塩水溶液並びに還元剤を加え、無電解めっきにより前記磁性体微粒子の表面の一部に金属を析出させ、更に界面活性剤並びにアルカリを加えて前記磁性体微粒子全面を界面活性剤薄膜で被覆した後、電気絶縁性液体に分散させて磁性エレクトロレオロジー流体を得る。この磁性エレクトロレオロジー流体は、外部からの磁界並びに電界の一方、あるいは両方の作用によりその剪断応力が増大される。特に、磁界と電界の両方を同一方向から作用させることにより、ER効果並びに磁気的効果の相乗効果により更に大きな剪断応力が発生する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁性体微粒子を核とし、その表面の一部に導電性物質が析出又は成膜され、更にその全面を界面活性剤で被覆してなる微粒子を電気絶縁性液体に分散させたことを特徴とする磁性エレクトロレオロジー流体。

【請求項2】 前記導電性物質が、金属であることを特徴とする請求項1記載の磁性エレクトロレオロジー流体。

【請求項3】 前記導電性物質が、導電性ポリマーであることを特徴とする請求項1記載の磁性エレクトロレオロジー流体。

【請求項4】 磁性体微粒子を分散させた溶液に金属塩水溶液並びに還元剤を加え、無電解めっきにより前記磁性体微粒子表面の一部に金属を析出させ、更に界面活性剤並びにアルカリを加えて前記磁性体微粒子全面を界面活性剤薄膜で被覆した後、電気絶縁性液体に分散させることを特徴とする磁性エレクトロレオロジー流体の製造方法。

【請求項5】 磁性体微粒子を分散させた溶液に導電性モノマーを加え、電解重合法により前記磁性体微粒子表面の一部に導電性ポリマー被膜を形成し、更に界面活性剤並びにアルカリを加えて前記磁性体微粒子全面を界面活性剤薄膜で被覆した後、電気絶縁性液体に分散させることを特徴とする磁性エレクトロレオロジー流体の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ダンパーやアクチュエータ等の作動流体として好適な磁性エレクトロレオロジー流体及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 電気絶縁性液体に誘電性を有する固体粒子を分散させた分散液に、外部から電界を作用させると、その印加電圧の大きさに応じて前記分散液の粘性が変化する現象は、ウィンズロウ (Winslow) 効果又はエレクトロレオロジー効果（以下、ER効果と略記）として知られている。このER効果は、分散液中の固体粒子が電界の作用により内部分極を起こし、この分極した固体粒子同士が静電的に結合することにより、分散液全体として見掛け上粘度や剪断力が増加するものである。このER効果を発生する流体はER流体と呼ばれ、例えばセルロースやシリカゲル、デンプン、イオン交換樹脂等の吸水性又は親水性を有する固体粒子に水やアルコールを含ませた含水系固体粒子や、金属や半導体、強誘電体等からなる導電性粒子、あるいはポリマー粒子を金属で被覆した導体化ポリマー粒子を絶縁被覆した非水系固体粒子を、パラフィン油やエステル油、エーテル油、シリコン油等の電気絶縁性液体に分散させた流体が知られている。ER効果は印加電圧に対する応答性や制御性に優れており、そのためER流体を各種機械装置の

10

20

30

40

50

作動流体として利用することが検討されており、例えばER流体を使用したダンパーやアクチュエータが提案されている。

【0003】 また、磁性体粒子に界面活性剤を吸着させて電気絶縁性液体に分散させた溶液は、磁性流体として知られている。代表的な磁性流体として、マグネタイト粒子にオレイン酸を吸着させて、ケロシンに分散させたものが知られている。この磁性流体は、外部磁場の印加により分散液中の磁性体粒子が吸引し合い、その結果溶液の見掛け粘度が増大するという特性を備えている。従って、外部磁場により粘度の制御が可能であるため、前記ER流体と同様に磁性流体を各種機械装置の作動流体として利用することが検討されている。

【0004】 更に、上記ER流体と磁性流体の両方の特性を兼ね備え、外部電場並びに外部磁場の両方によりその粘性が制御される流体が、T. Fujita他により報告されている (J. Magn. Magn. Mat. 122 (1993) 29)。それによると、ER効果を示すチタン酸バリウム誘電流体とケロシンベース磁性流体とを混合してなる混合流体は、外部電場並びに外部磁場両方に応答してその粘性が変化することが示されている。以上説明したように、ER流体や磁性流体、あるいはそれらの混合流体は、外部電場または外部磁場、あるいはそれら両者によりその粘性を容易に制御できるため、これらの流体をダンパーやアクチュエータを始めとして各種機械装置の作動流体として利用することが検討されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、ER流体に関しては、含水系固体粒子を使用したER流体では常温ではER効果が発現するものの、高温になると水分が蒸発してER効果が低減したり、殆ど発現しなくなるという問題がある。また、非含水系固体粒子を使用したER流体では、実用に耐え得る程大きなER効果が得られない状況にある。同様に、磁性流体に関しては、未だ充分な磁気的凝集効果を有するものが得られない状況にある。また、ER流体並びに磁性流体の両方に共通する問題点として、以下の事項を挙げることができる。ER流体や磁性流体においては、より大きな効果を発現させるためには外部電場又は外部磁場の印加強度を高めたり、流体中の粒子濃度を高めたり、あるいはより大径の誘電体粒子又は磁性粒子を使用する必要がある。しかし、印加強度を高める方法ではエネルギー消費の点で好ましくなく、また粒子濃度を高める方法でも、濃度が高すぎると粒子同士の微視的な凝集が起こり易く、分散性が低下するとともに、粒子同士の遮蔽効果により外部電場または外部磁場が各粒子に効果的に作用しなくなる。

【0006】 一方、大径粒子を使用する場合では、粒子が電気絶縁性液体中に沈降して相分離が起こり、ER効

果や磁気の効果が低減したり、全く発現しなくなるという問題が発生する。この問題を解決するために、通常複数の電気絶縁性液体を配合したり、電気絶縁性液体に界面活性剤や分散剤、沈降防止剤等を添加することにより、粒子との比重差を小さくして該粒子の沈降を防止するとともに、分散性を向上させて相分離を抑制することが行われている。しかし、電気絶縁性液体と粒子との比重差を調整する方法では、調整の困難性に加えて、電気絶縁性液体の比重が大きくてもそれ以上に大きな比重を有する粒子には適応できないという根本的な問題があり、電気絶縁性液体と粒子との組み合わせが制限される。

【0007】また、界面活性剤や分散剤、沈降防止剤等を添加して粒子の分散性を向上させる方法では、これら添加剤の作用によりある程度の分散性の向上は認められるものの、大径粒子を充分均一に分散させるには相当量の添加剤を必要とする。特に、ER流体においては多量の添加剤により電気絶縁性液体の誘電率が変化して、ER効果に影響を及ぼすことがある。更には、添加剤を加えることによりコスト増となり、好ましくない。

【0008】一方、ER流体と磁性流体との混合流体に関しては、前述したER流体並びに磁性流体個々に関する問題点を抱えているとともに、同一の電気絶縁性液体中に誘電体粒子と磁性粒子とが混在しているために、各粒子の流体中での濃度が低く、ER効果並びに磁気的凝集効果の各々の大きさは、各流体単独の場合よりも小さくなる。従って、ER流体と磁性流体とを混合することにより、場合によっては各流体単独の場合よりも粘度特性が劣化することもある。しかし、粒子濃度を高めるにしても、前述したように流体中に占める粒子全体としての濃度に制限があるとともに、誘電体粒子あるいは磁性粒子の濃度が相対的に増減するだけであるため、粒子濃度の増加には限界があり、混合流体としての効果を飛躍的に増大させることはできない。以上説明したように、実用に耐え得る程度に充分な特性を有するER流体や磁性流体が、未だ得られていない状況にある。

【0009】本発明は、上記問題点を解決することを目的とするものであり、即ち外部電場または外部磁場、あるいは両者の作用によりその粘度が著しく増加し、しかも粘度の制御も容易にかつ精密にでき、また粒子の分散性にも優れ、更に実用に耐え得る程度に充分大きな粘度特性を備える磁性エレクトロレオロジー流体並びにその製造方法を提供することを目的とする。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記問題点を解決するために鋭意研究を重ねた結果、磁性体からなる微粒子表面の一部に導電性物質を析出または成膜し、更にその全表面を界面活性剤で被覆することにより、ER流体並びに磁性流体双方の効果を備え、しかも分散性にも優れた磁性エレクトロレオロジー流体が得ら

れることを見出し、本発明を完成するに至った。即ち、上記目的は、その表面の一部に金属または導電性ポリマーからなる導電性物質が析出または成膜され、更にその全表面を界面活性剤薄膜で被覆された磁性体微粒子を電気絶縁性液体に分散させたことを特徴とする磁性エレクトロレオロジー流体により達成される。また、同様の目的は、磁性体微粒子を分散させた溶液に、金属塩水溶液並びに還元剤を加えて無電解めっきにより前記磁性体微粒子表面の一部に金属を析出させ、あるいは前記溶液に導電性モノマーを加え、電解重合法により導電性ポリマー被膜を形成し、更に界面活性剤並びにアルカリを加えて前記磁性体微粒子全面を界面活性剤薄膜で被覆した後、電気絶縁性液体に分散させることを特徴とする磁性エレクトロレオロジー流体の製造方法によっても達成される。

【0011】本発明に用いられる磁性体微粒子は、酸化物強磁性体や金属強磁性体からなる微粒子であり、具体的にはマグネタイトに代表されるフェライト微粒子、あるいは鉄微粒子やコバルト微粒子、それらの合金微粒子等を挙げることができる。これら磁性体微粒子は、公知の共沈法や金属イオンの還元法、CVD法等により作成可能である。特に、フェライト微粒子の場合には共沈法で作成することにより、粒径数nm～数十nm程度の粒径の揃った超微粒子を得ることができる。

【0012】また、前記磁性体微粒子表面に形成される金属としては、金や白金、銀等の貴金属が好適であるが、他の耐腐食性金属も可能である。これらの金属は、無電解めっきにより磁性体微粒子表面に析出又は成膜される。この無電解めっきのために、前記金属は塩化物等のハロゲン化物やシアン化物、亜硫酸塩等、あるいは前記化合物の水和物として、更に好ましくは金属の水和塩化物として還元剤とともに系内に導入される。この無電解めっきは、磁性体微粒子にER効果を付与するための処理であるが、このER効果付与のためには金属は磁性体微粒子表面の一部に析出又は成膜されるだけで充分であり、逆に磁性体微粒子全面が金属で被覆されると粒子の比重が大きくなり、磁性エレクトロレオロジー流体とした場合に粒子の沈降や相分離を起こすため好ましくない。そこで、無電解めっきに際して、前記金属塩水溶液の濃度を0.001～10wt%の範囲、しかも金属塩と磁性体微粒子との比率が重量比で1～200%の範囲となるように設定することが好ましい。また、還元剤としては、クエン酸ナトリウムや酒石酸、グリセリン、アルデヒド、ぶどう糖、次亜リン酸塩、水素化ほう素化合物等を好適に使用することができる。

【0013】無電解めっきは、前記磁性体微粒子を蒸留水に分散させた溶液に所定量の前記金属塩水溶液を添加し、この混合液を加熱、攪拌しながら前記還元剤水溶液を滴下して行われる。尚、この時の加熱温度は60～95℃が好ましく、室温以下の場合には反応が充分に進行

せず、析出金属の充分な付着強度が得られないことがある。尚、前記磁性体微粒子を共沈法により作成した場合、生成微粒子表面には塩化物や硫酸塩等の電解質が付着しているため、無電解めっきの前処理として磁性体微粒子を洗浄して表面の電解質を除去することが好ましい。また、反応中のpHを9~11程度に維持することにより、電解質の有無に関わらず磁性体微粒子表面に金属を析出させることが可能である。

【0014】更に、磁性体微粒子にER効果を付与するための表面処理に際して、前記金属に代えて導電性ポリマーを使用することができる。その場合、磁性体微粒子表面への被膜は無電解めっきによる方法ではなく、磁性体微粒子と導電性モノマーを含む電解溶液に電圧を印加することにより、その時の通電した電荷量に比例した膜厚の導電性ポリマーが磁性体微粒子表面に形成される。前記導電性ポリマーとしては例えばポリチオフェンを好適に挙げることができ、この電解重合により該ポリチオフェンフィルムによりその表面の一部または全面が被覆された磁性体微粒子が得られる。

【0015】そして、以上のようにして得られた金属または導電性ポリマーが表面の一部に析出又は成膜された磁性体微粒子（以下、導電性物質被覆磁性粒子と略記）を含む溶液を静置して液相と固相とに相分離させ、液相中に浮遊する超微粒子のみを採取する。ここで、遠心分離器を用いて超微粒子のみを採取することもできる。この超微粒子は平均粒径10nm程度であり、後述される磁性エレクトロレオロジー流体とした際に、該流体中で沈降することなく優れた分散性が得られる。

【0016】次いで、前記超微粒子のみを蒸留水に分散させ、界面活性剤並びにアルカリを加えて加熱することにより、表面が界面活性剤からなる薄膜で被覆された導電性物質被覆磁性粒子が得られる。前記界面活性剤としては、オレイン酸ナトリウムやアルキルアノニウムアセテート、アルキルスルホコハク酸塩、n-アシルアミノ酸塩、n-アルキルトリメチレンジアミン誘導体、アルカリ酢酸塩等が挙げられ、中でもオレイン酸ナトリウムが好ましい。また、アルカリとしては、水酸化ナトリウムや水酸化カリウム、アンモニア水等が挙げられ、中でも水酸化ナトリウムが好ましい。このアルカリを加えて反応液のpHを10前後に調整して、90℃程度に加熱することにより、導電性物質被覆磁性粒子の全表面に厚さ1~2nm程度の界面活性剤薄膜が成膜される。この界面活性剤薄膜は、後述される電気絶縁性液体中での分散性を向上させるとともに、磁性体粒子表面の金属または導電性ポリマーを絶縁被覆して、外部から電界が作用された時に絶縁破壊が発生することを防止するためのもので、親油性の薄膜である。

【0017】次いで、前記反応液を冷却した後濃別し、固体成分を充分乾燥して表面の水分を除去して電気絶縁性液体中に分散させることにより、本発明に係る磁性工

レクトロレオロジー流体が得られる。電気絶縁性液体としては、ケロシンやアルキルナフタレン等を挙げることができ、中でも揮発し難い点でアルキルナフタレンが好ましい。また、電気絶縁性液体中の粒子濃度は5~50wt%が好ましく、この値は通常のER流体や磁性流体における粒子濃度と同程度である。前記粒子濃度が5wt%以下の場合には外部電場や外部磁場に対する応答性が悪かったり、実用に耐え得る程度の効果が得られない。一方、50wt%以上の高濃度になると流体の粘度が極めて上昇し、電磁界の印加による粒子相互の凝集の可能性もあり、外部電界の作用で絶縁破壊も起こり易くなる。何れの場合も、外部電場及び外部磁場の印加強度を増加させなければならず好ましくない。更に、分散後に加熱処理を施すことにより、磁性エレクトロレオロジー流体の熱的安定性を増加させることができる。

【0018】このようにして得られた磁性エレクトロレオロジー流体は、コアとなる磁性体粒子が外部磁場に応答し、また該磁性体粒子表面の金属が外部電場に応答して磁力線方向または電気力線方向に配向してクラスターを形成する。従って、磁力線及び電気力線が同一方向となるように磁界及び電界を作用させることにより、ER効果と磁気的凝集効果との相乗効果により前記クラスターの凝集力が増強され、ER流体単独または磁性流体単独の場合に比べてより大きな剪断応力が得られる。しかも、磁界並びに電界両方の作用に応答するため、制御に関する自由度が増加するとともに、ER流体単独または磁性流体単独の場合に比べてより細かな粘度制御を行うことも可能である。

【0019】また、磁界並びに電界の作用に応答するのが同一粒子であるため、従来のER流体と磁性流体との混合流体のように、磁性粒子並びに誘電体粒子双方の粒子濃度に関する問題も解消される。更に、磁性エレクトロレオロジー流体中に分散される粒子も平均粒径10nm程度で、しかもその表面に界面活性剤被膜が形成された超微粒子であるため、分散性が大幅に改善されて優れたER効果並びに磁気的凝集効果が得られるとともに、経時安定性にも優れる。また、従来のように電気絶縁性液体に界面活性剤や分散剤、沈降防止剤等を添加することなく良好な分散性が得られるため、コスト面でも優位となる。

#### 【0020】

【実施例】本発明に係る磁性エレクトロレオロジー流体について、実施例に基づいてより詳細に説明する。但し、本発明はこれに限定されるものではない。共沈法により得られた平均粒径10nmのマグネタイト20gを蒸留水800mlに分散させ、溶液Aを作成した。また、塩化金酸の4水和物1gを蒸留水100mlに溶解して、溶液Bを作成した。更に、クエン酸ナトリウム1gを蒸留水100mlに溶解して、溶液Cを作成した。そして、溶液Aを90℃に加熱して溶液Bを加え、10

分間攪拌した後、20℃に冷却して溶液Dを得た。次いで、溶液Dを攪拌しながら溶液Cを5分間かけて全量を滴下し、更に滴下後10分間攪拌して無電解めつきを行い、表面の一部に金が析出されたマグネタイト微粒子を含む溶液Eを得た。

【0021】次いで、前記溶液Eを静置して液相部分のみを採取し、この液相部分にオレイン酸ナトリウム10gを加え、更に水酸化ナトリウムを加えてpHを10に調整し、攪拌しながら90℃に加熱して30分間保持した。冷却後、溶液Eを濾紙を用いて濾別し、更に固形成分を60℃で48時間乾燥して、粉体25gを得た。この粉体は、その表面がオレイン酸ナトリウムで被覆された金析出マグネタイト微粒子である。そして、前記粉体25gをケロシン50m1中に分散させ、2時間加熱して磁性エレクトロレオロジー流体約55m1を得た。このようにして得られた磁性エレクトロレオロジー流体の物性を測定したところ、密度907kg/m<sup>3</sup>、飽和磁化0.012T、体積抵抗率5MΩmであった。また、比誘電率は10kHz以上において約2であり、10kHzまでは周波数の増加とともに比誘電率及び誘電正接とも減少した。

【0022】更に、前記磁性エレクトロレオロジー流体の粘度特性に関して、図1に示される装置を用いて調べた。図1において、測定装置1は、外筒2及び内筒3からなる同心二重円筒と、該同心二重円筒を挟んで対向する一対の磁極4a, 4bを有する磁石4とから構成される。また、外筒2と内筒3との間に交流高電圧発生装置5が接続され、内筒3から外筒2方向に均一に電界が発生するように構成されている。従って、磁界及び電界は磁極4a, 4b方向においては同方向に発生し、一方該磁極4a, 4bの垂直方向では直交して発生する。

【0023】そして、前記測定装置1の外筒2と内筒3との間に磁性エレクトロレオロジー流体6を充填し、更に外筒2を回転し、該回転と同時に電界あるいは磁界を作用させた時の剪断応力と剪断速度との関係を求めた。図2は、磁界を作用させず、電界のみをその強度を変えて作用させた時の剪断応力と剪断速度との関係を示すグラフである。尚、電界の印加に際して、交流高電圧発生装置5の周波数は50Hzを使用した。図示されるように、本発明に係る磁性エレクトロレオロジー流体は、無電界(並びに無磁界)の場合(図中○印)には、剪断速度と剪断応力とは比例関係にあり、ニュートン流体の粘性挙動を示すが、電界を作用させると低剪断速度領域では電界強度の2乗にほぼ比例して増加し、その後は剪断速度の増加に比例して剪断応力が増加しており、ビンガム流体の粘性挙動を示す。また、電界強度に応じて剪断応力も増加しており、例えば2kV/mmの電界を作用させた場合(図中印)には、無電界の場合に比べて10倍以上の値を示している。このように、本発明に係る磁性エレクトロレオロジー流体は、電界の作用によりE

20  
10  
20  
30  
40

50

R効果が発現することが判る。

【0024】また、一定強度(但し、外筒表面において185kA/m、内筒中心部では110kA/m)の磁界を作用させて、同様の測定を行った。測定結果を図3に示す。図示されるように、磁界の作用により剪断応力が上昇しており、例えば、無電界(図中○印)の場合でも、図2において1kV/mmの電界を作用させた場合(図2中□印)よりも大きな剪断応力を示しており、磁界の作用による凝集効果が現れていることがわかる。しかし、電界強度が1.5kV/mm以上になると(図中△印及び●印)、図2及び図3は略同様の曲線を示し、剪断応力にも大幅な増加がみられない。このことから、ある電界強度以上では磁界の作用による凝集効果が少くなり、電界の影響が支配的になることがわかる。

【0025】更に、剪断速度を40S<sup>-1</sup>で一定とし、周波数の異なる1kV/mmの電界を作用させた時の剪断応力を、磁界を作用させた場合と作用させない場合について測定した。測定結果を図4に示す。図示されるように、磁界を作用させた場合(図中○印)は、磁界を作用させない場合(図中●印)に比べて測定周波数(0~800Hz)の全域において剪断応力が上昇しており、磁界の作用による凝集効果が現れていることがわかる。また、剪断応力の極小値は、磁界を作用させない場合に比べて低周波数側(約60~70Hz付近)に移行しており、磁界の作用によりクラスターの形成から崩壊までの時間が促進されて、応答性が向上していることがわかる。

#### 【0026】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る磁性エレクトロレオロジー流体は、コアとなる磁性体粒子が外部磁場に応答し、また該磁性体粒子表面の金属が外部電場に応答して磁力線方向または電気力線方向に配向してクラスターを形成する。従って、磁力線及び電気力線が同一方向となるように磁界及び電界を作用させることにより、ER効果と磁気的凝集効果との相乗効果により前記クラスターの凝集力が増強され、ER流体単独または磁性流体単独の場合に比べてより大きな剪断応力が得られる。しかも、磁界並びに電界両方の作用に応答するため、制御に関する自由度が増加するとともに、ER流体単独または磁性流体単独の場合に比べてより細かな粘度制御を行うことも可能である。このことは、本発明に係る磁性エレクトロレオロジー流体をダンパーやアクチュエータの作動流体に使用した際に、特に有益となる。

【0027】また、磁界並びに電界の作用に応答するものが同一粒子であるため、従来のER流体と磁性流体との混合流体のように、磁性粒子並びに誘電体粒子双方の粒子濃度に関する問題も解消される。更に、磁性エレクトロレオロジー流体中に分散される粒子も平均粒径10nm程度で、しかもその表面に界面活性剤被膜が形成された超微粒子であるため、分散性が大幅に改善されて優れ

たE R効果並びに磁気的凝集効果が得られるとともに、経時安定性にも優れる。また、従来のように電気絶縁性液体に界面活性剤や分散剤、沈降防止剤等を添加することなく良好な分散性が得られるため、コスト面でも優位となる。このように、本発明に係る磁性エレクトロレオロジーエルボ流体は、工業的に極めて有用である。

【0028】

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 実施例において使用した粘度測定装置を示す概略斜視図である。

【図2】 本発明に係る磁性エレクトロレオロジーエルボ流体に電界のみを作用させた時の剪断応力と剪断速度との関係を示すグラフである。

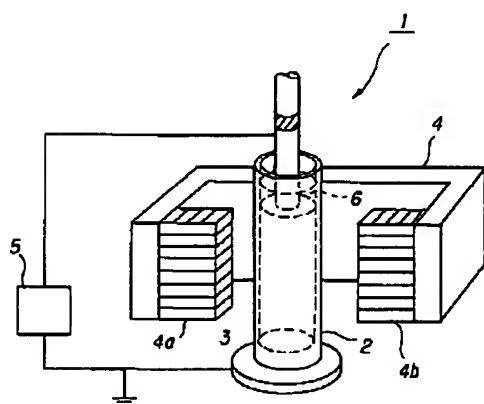
【図3】 本発明に係る磁性エレクトロレオロジーエルボ流体に磁界並びに電界の両方を作用させた時の剪断応力と剪断速度との関係を示すグラフである。

【図4】 本発明に係る磁性エレクトロレオロジーエルボ流体に、剪断速度一定の下で、周波数の異なる電界を作用させた時の剪断応力の測定結果を示すグラフである。

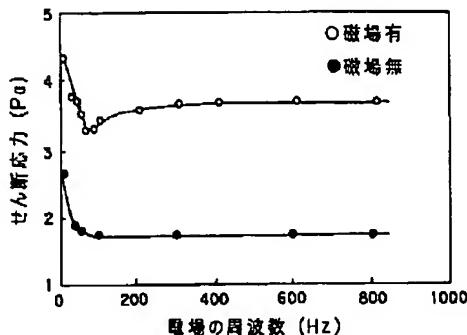
## 【符号の説明】

- 1 粘度測定装置
- 2 外筒
- 3 内筒
- 4 磁石
- 5 交流高電圧発生装置

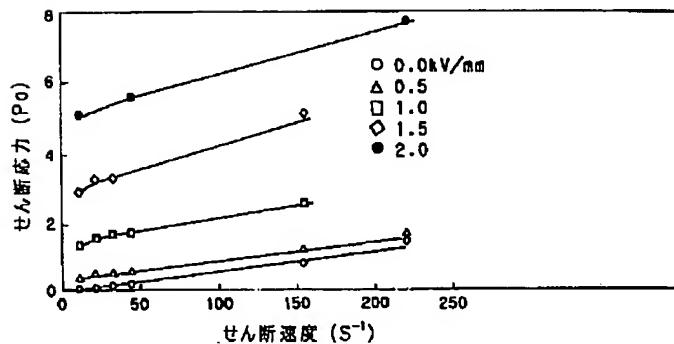
【図1】



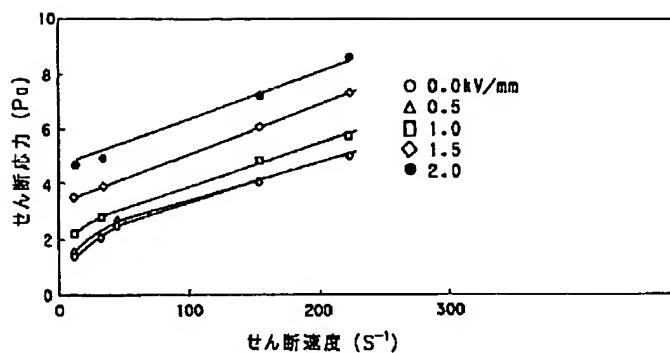
【図4】



【図2】



【図3】



---

フロントページの続き

(72)発明者 吉野 健司

秋田県秋田市保戸野八丁17-6 浅利マン  
ション407号